



# TREBALL FINAL DE GRAU



ESCOLA  
POLITÈCNICA SUPERIOR  
UNIVERSITAT DE LLEIDA  
INSPIRING THE FUTURE

**Estudiant:** Francesc X. Majós Palau

**Titulació:** Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

**Títol de Treball Final de Grau:** Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils

**Director/a:** Jordi Palacín

**Presentació**

Mes: Juliol

Any: 2018



*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al  
guiatge automàtic de sistemes mòbils*

## 1. Taula de contingut

INDEX DE FIGURES .....	3
1. MEMORIA .....	0
1.1. Introducció .....	0
1.2. Antecedents i motivació .....	1
1.3. Objectius .....	2
1.4. Estat de l'art dels sensors .....	3
1.4.1. Sensors d'ultrasons.....	3
1.4.1.1. Per aplicacions de prova .....	4
1.4.1.2. Sensors Industrials .....	5
1.4.1.3. Sensors per Automoció .....	6
1.4.2. Sensors òptics .....	7
1.4.2.1. Sistema LIDAR 2d .....	8
1.4.3. Sensors RGB - D o LIDAR 3d.....	14
1.4.3.1. Alternatives de mercat.....	16
1.5. Experiments .....	18
1.5.1. Obtenció de Dades del LIDAR.....	19
1.5.2. Detecció d'obstacles.....	21
1.5.3. Simulació de sensors d'ultrasons mitjançant un LIDAR .....	25
1.6. Correcció de trajectòria .....	30
1.7. Conclusions .....	32
2. BIBLIOGRAFIA .....	33
3. ANNEXOS .....	34



*Anàlisis de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al  
guiatge automàtic de sistemes mòbils*

3.1.	Detecció d'obstacles .....	34
3.2.	Simulació ultrasons .....	37
3.3.	Solució per corregir trajectòria .....	40



*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al  
guiatge automàtic de sistemes mòbils*

## INDEX DE FIGURES

Figura 1. Funcionament sensor ultrasons .....	3
Figura 2. Sensor Ultrasons HC-SR04 .....	4
Figura 3. Sensor Ultrasons XX630A3PCM12 .....	5
Figura 4. Kit d'aparcament ultrasònic NY9090 .....	6
Figura 5. Principi de la reflexió difusa.....	7
Figura 6. Dades a temps real amb LIDAR Hokuyo UTM-30LX .....	8
Figura 7. Hokuyo URG-04LX.....	9
Figura 8. Hokuyo UTM-30LX .....	10
Figura 9. Sick TiM551.....	11
Figura 10. Scanse Sweep montat.....	12
Figura 11. SLAMTEC RPLIDAR A3 .....	13
Figura 12. Imatge preprocessada amb una càmera RGB-D.....	14
Figura 13. Imatge RGB-D processada. ....	15
Figura 14. Microsoft Kinect V2 .....	16
Figura 15. Intel® RealSense™ Depth Camera D435 .....	17
Figura 16. Captura de dades utilitzant el robot mòbil APR que incorpora un LIDAR URG. ....	18
Figura 17. Visió real Vs. Dades vistes des de el LIDAR previ tractat.....	20
Figura 18. Diagrama de flux, detecció d'obstacles .....	22
Figura 19. Resultat experiment 2, prova 3 .....	23
Figura 20. Resultat experiment 2, prova 6 .....	24
Figura 21. Diagrama de flux de la funció que simula ultrasons. ....	26
Figura 22. Simulació d'obtenció de dades amb 10 ultrasons.....	27
Figura 23. Simulació d'obtenció de dades amb 100 ultrasons.....	28
Figura 24. Simulació d'obtenció de dades amb 1000 ultrasons.....	29
Figura 25. Funció que calcula l'angle d'escapament .....	30
Figura 26. Evitar obstacles.....	31



*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

## 1. MEMORIA

### 1.1.Introducció

Aquest projecte sorgeix de la necessitat observada molts cops en persones amb diverses patologies o diversitats funcionals, les quals els dificulta una tasca tant senzilla com poder desplaçar-se d'un punt al altre evitant obstacles o altres dificultats del propi entorn.

La idea principal seria la de poder implementar una cadira de rodes on la conducció pugui ser totalment autònoma, només seleccionant on anar, el sistema hauria de ser capaç de transportar l'usuari sense cap informació que no pugui ser recollida per ell mateix de forma autònoma.

Per poder arribar a desenvolupar un sistema complert s'han de completar un gran nombre d'etapes intermèdies com la definició dels sensors a utilitzar, la forma en com accedir a la informació dels sensors, la forma de tractament d'aquesta informació i finalment la presa de decisions a partir de tota aquesta informació.

A més a més, la informació obtinguda dels sensors es pot processar amb l'objectiu de crear una base de dades històrica, combinar-la per crear mapes de l'entorn, per definir estratègies de relació amb l'entorn que tinguin cada cop més capacitat d'abstracció i on la feina a realitzar per part de l'usuari d'una cadira de rodes sigui cada cop més simple i senzilla.

Concretament ens centrarem en la recol·lecció de dades de l'entorn utilitzant sensors electrònics, i així a partir del processament d'aquestes dades poder arribar a obtenir informació rellevant de l'entorn, detectar els possibles obstacles que apareguin en un desplaçament, i definir una estratègia de control reactiva que permeti millorar el guiatge d'una cadira de rodes.



*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

## **1.2. Antecedents i motivació**

Els antecedents d'aquesta proposta es troben en el treball de recerca en robòtica que es desenvolupa en el Grup de Processat del Senyal de la Universitat de Lleida en la direcció de desenvolupar sistemes automàtics de guiatge per a robots mòbils.

La motivació per realitzar aquest treball es troba en el meu interès personal en millorar els dispositius d'ajuda a persones amb discapacitat mitjançant l'aplicació de sistemes tecnològics. De forma específica es vol analitzar les possibilitats de desenvolupar un sistema automàtic o semi-automàtic que permeti millorar i simplificar el guiatge de cadires de rodes.



*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

### **1.3.Objectius**

El objectiu principal d'aquest projecte de final de grau, és obtenir un Algoritme juntament amb el seu codi, capaços de fer lleugeres correccions sobre la trajectòria d'un objecte mòbil. Aquestes correccions servirien per poder evitar col·lisions per exemple, en usuaris amb cadira de rodes elèctrica, on per algun motiu manquen de la capacitat de poder realitzar maniobres precises.

L'assoliment d'aquest objectiu ve lligat a molts altres que anomenarem objectius secundaris, aquests són:

- Coneixement i aprofundiment sobre les diferents tecnologies electròniques disponibles al mercat, per poder realitzar mesures de distàncies.
- Selecció d'una d'aquestes tecnologies per implantar en el nostre objectiu principal.
- Aprofundiment sobre la tecnologia escollida.
- Realitzar un programa capaç de diferenciar obstacles potencialment perillosos de obstacles llunyans.
- Validació de la tecnologia escollida respecte altres.
- Anàlisi de la viabilitat d'aplicació de la tecnologia escollida.
- Anàlisi de la solució algorítmica desenvolupada i la seva viabilitat.

Per poder assolir bona part dels objectius secundaris s'han realitzat variis experiments detallats més endavant.

## 1.4. Estat de l'art dels sensors

### 1.4.1. Sensors d'ultrasons

Els sensors ultrasònics son dispositius molt presents en la vida quotidiana, així com en el camp de la robòtica, la indústria, etc. Aquests basen el seu funcionament en 2 fenòmens, la *piezoelectricitat*<sup>1</sup> i la reflexió de les ones<sup>2</sup>.

Resumidament s'aplica una tensió elèctrica a un material piezoelèctric (generalment ceràmic), aquest vibra a una freqüència determinada creant així una ona, aquesta viatja pel medi fins trobar un obstacle i surt reflectida fins tornar a arribar al nucli ceràmic que actua de forma inversa, vibra i genera un potencial elèctric.

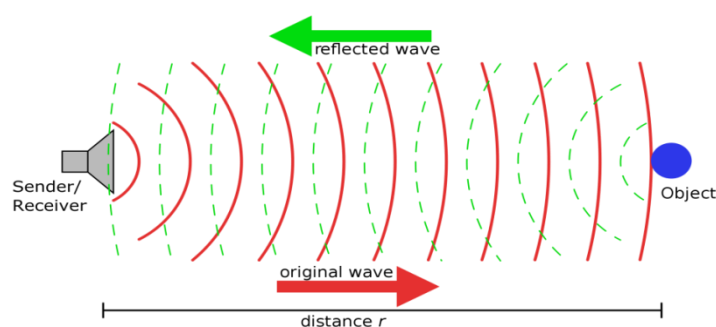


Figura 1. Funcionament sensor ultrasons

Aquest tipus de sensors contenen el temps que tarda la ona en anar fins l'objecte i tornar, així realitzant un senzill càlcul podem saber a la distància que es troba l'objecte.

$$L = \frac{V_{\text{medi}} \cdot T_{\text{ona}}}{2}$$

L = Distància de l'objecte

$V_{\text{medi}}$  = Velocitat del so en el medi

$T_{\text{ona}}$  = Temps d'anar i tornar de la

<sup>1</sup> Materials amb la capacitat de deformar-se en rebre tensions elèctriques i de retornar tensions elèctriques al rebre deformacions.

<sup>2</sup> Quan la dimensió d'un objecte és relativament gran en comparació amb la longitud d'ona que xoca, una part d'aquesta surt rebotada.



## *Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

De sensors ultrasonics ni ha de molts tipus, dimensions i preus. A continuació els classificarem breument segons la seva funció: DIY (Do It Yourself, disponibles en peces a ensamblar), Industrials i camp automoció.

### **1.4.1.1. Per aplicacions de prova**

Aquest tipus de sensors son sensors de baix cost, petits i de baix consum que segueixen la filosofia *Do It Yourself*<sup>3</sup>(fes-ho tu mateix), son sensors de Codi i disseny Lliure que tenen com a intenció fomentar la robòtica i que tothom pugui iniciar-se en aquest món. Per exemple, un dels més comuns, el **Mòdul HC-SR04**.

### ESPECIFICACIONS



**Figura 2. Sensor Ultrasons HC-SR04**

Voltatge de funcionament:	5 V
Corrent de funcionament:	15 mA
Rang de mesura:	2 – 400 cm
Freqüència del pols:	40 Khz
Obertura del pols ultrasònic:	15 °
Senyal d'accionament:	10 µs
Dimensions:	45 x 20 x 15 mm
Pes:	10 g
Preu:	< 10 €
Lloc on comprar:	<a href="https://www.pccomponentes.com/m-dulo-hc-sr04-sensor-de-ultrasonido-compatible-con-arduino">https://www.pccomponentes.com/m-dulo-hc-sr04-sensor-de-ultrasonido-compatible-con-arduino</a>

<sup>3</sup> [https://es.wikipedia.org/wiki/H%C3%A1gallo\\_tú\\_mismo](https://es.wikipedia.org/wiki/H%C3%A1gallo_tú_mismo)

*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

**1.4.1.2. Sensors Industrials**

Aquest tipus son molt més robustos que els anomenats anteriorment, ja que estan pensats per ser instal·lats en àmbits industrials on una fallada pot arribar a ser fatal. També son molt més precisos degut a la importància d'una correcta lectura. Això també fa que el seu cost sigui molt més elevat, algun exemple seria el **XX630A3PCM12 de Schneider Electric**.



**Figura 3. Sensor Ultrasons  
XX630A3PCM12**

**ESPECIFICACIONS**

Voltatge de funcionament:	12 - 24 V
Corrent de funcionament:	50 mA
Rang de mesura:	0.2 – 8 m
Freqüència del pols:	75 KHz
Obertura del pols ultrasònic:	16 °
Senyal d'accionament:	200 ms
Dimensions:	44 x 44 x 118 mm
Pes:	11 g
Preu:	500 < p < 1000 €
Lloc on comprar:	<a href="https://es.onlinecomponents.com/schneider-telemacanique-xx630a3pcm12.html?p=43931513">https://es.onlinecomponents.com/schneider-telemacanique-xx630a3pcm12.html?p=43931513</a>

*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

### **1.4.1.3. Sensors per Automoció**

Aquest és un dels sectors on els sensors ultrasònics han tingut més cabuda en els últims temps. Els sensors d'ultrasons per automoció es poden trobar en kits, són més resistents i precisos que els DIY i molt més econòmics que els industrials. Els principals inconvenients són la dificultat d'adaptar-los a aplicacions que no siguin d'automoció i la dificultat d'adquirir-los, ja que només es poden comprar en tallers com a recanvi o en pàgines internacionals de venda. Un exemple d'aquests kits és **8 sensors d'aparcament NY9090** que inclou fins a 8 sensors ultrasònics resistents a l'aigua, un mòdul central de control i una pantalla de visualització per una aplicació en un automòbil, malauradament aquest kit no contempla la possibilitat de compartir la informació dels sensors amb altres sistemes de control extern.



Figura 4. Kit d'aparcament ultrasònic NY9090

### **ESPECIFICACIONS**

Voltatge de funcionament:	12 V
Corrent de funcionament:	100 - 300 mA
Rang de mesura:	-
Freqüència del pols:	40 Khz
Obertura del pols ultrasònic:	-
Senyal d'accionament:	-
Dimensions:	-
Pes:	-
Preu:	10 < p < 100 €
Lloc on comprar:	Aliexpress, <a href="https://goo.gl/SVWGEz">https://goo.gl/SVWGEz</a>

*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

### 1.4.2. Sensors òptics

Els sensors òptics formen part d'una de les famílies més grans de sensors, això és degut a la simplicitat del seu funcionament. Bàsicament aquests sensors transformen la llum rebuda en energia elèctrica, aquest principi tan simple permet mesurar una gran varietat de magnituds amb molts mecanismes diferents.

Nosaltres ens centrarem en els anomenats **Sensors de reflexió difusa**, ja que centrarem el nostre projecte en la utilització de sensors làser. El seu principi de funcionament consisteix en emetre làser<sup>4</sup> i de forma semblant als sistemes ultrasònics, avaluar el temps que tarda en “rebotar” i així conèixer la distància a la que és troba el objecte.

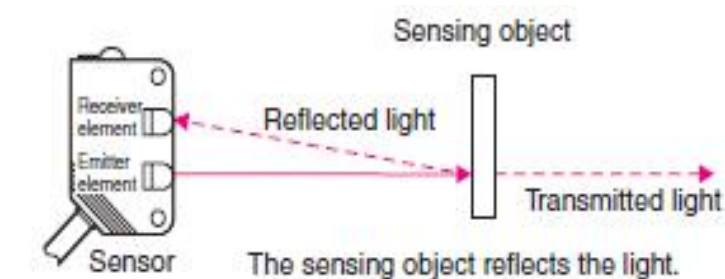


Figura 5. Principi de la reflexió difusa

Aquesta tecnologia ens ofereix una gran precisió i major abast que altres sistemes, però també cal tenir en compte els problemes ocasionats per objectes transparents o les possibles interferències causades per reflexos externs.

Com en el cas dels ultrasons existeixen varis tipus de sensors làser, nosaltres centrarem la resta del treball en la utilització dels anomenats LIDAR.

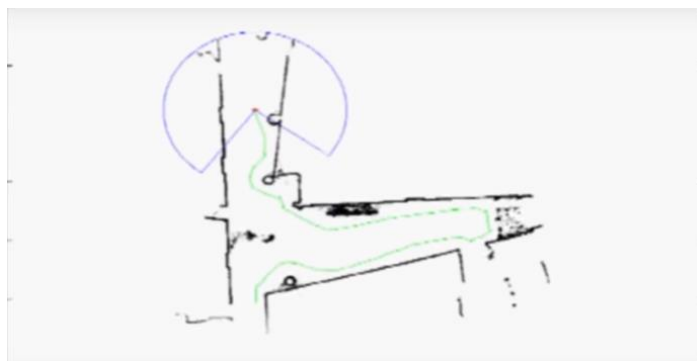
<sup>4</sup> Del angles **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation, és un feix de llum concentrada i recta caracteritzat per dos paràmetres, la longitud d'ona i la intensitat lumínica.

*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

#### **1.4.2.1. Sistema LIDAR 2d**

Com s'ha dit anteriorment dins el camp dels sensors òptics nosaltres utilitzarem els categoritzats com a LIDAR<sup>5</sup>, concretament els que treballen en dos dimensions. El principi de funcionament d'un sensor LIDAR en essència és el mateix que el d'un làser però amb la peculiaritat de poder moure's i per tant obtenir un núvol de punts com a mesura enlloc d'un sol punt.

Aquesta tecnologia és pot implementar de moltes formes diferents, en els seus inicis s'implementava de forma fixa un sensor làser en una espècie de vehicle el qual era l'encarregat de moure's i així poder llegir variis punts en un eix. A partir de la combinació de les dades enregistrades pel sensor i el desplaçament del dispositiu mòbil es pot crear un mapa en dues dimensions de l'entorn.



**Figura 6. Dades a temps real amb LIDAR Hokuyo UTM-30LX**

Actualment la tecnologia ha evolucionat fins al punt d'oferir un dispositiu de mesura làser on el punt de mesura gira i permet cobrir un desplaçament angular de entre 270° fins a 360° d'alguns models. Si aquests núvols de punts en dues o tres dimensions se combinen en un únic element es pot obtenir mapes complexos de dos i tres dimensions de l'entorn on apareixen les característiques i singularitats de l'entorn. Els LIDARS sobretot son utilitzats en el camp de la topografia per poder construir mapes de grans dimensions, en robòtica, el nostre cas, per realitzar una detecció a temps real dels obstacles, en el camp de la conducció autònoma, aplicacions d'òptica, geologia, etc.

<sup>5</sup> Acrònim del Angles, **L**ight **D**etection and **R**anging o **L**aser **I**maging **D**etection and **R**anging

*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

1.4.2.1.1. LIDAR Industrials

Començarem per l'escollit per realitzar el nostre projecte, el **Hokuyo URG-04LX**. S'ha escollit aquest per la seva precisió en la presa de dades en relació al preu del propi aparell i per la disponibilitat d'us per realitzar assajos. El Laboratori de Robòtica de la Universitat de Lleida disposa diversos sensors d'aquest tipus.



Figura 7. Hokuyo URG-04LX

ESPECIFICACIONS

Voltatge d'alimentació:	5 V (Necessitat d'una font externa d'alimentació)
Consum de corrent:	500 mA (800 mA d'arrancada)
Longitud de mesura:	60 a 4095 mm
Angle de visió:	240 °
Precisió:	De 60 a 1000 mm → ± 10mm De 1000 a 4095 mm → 1% de la mesura
Resolució angular:	aprox. 0,36 °
Longitud d'ona del làser ( $\lambda$ ):	785 nm
Temps d'escaneig:	100 ms / escaneig
Pes:	160 g
Preu:	p ≈ 1000 €
Lloc on comprar:	<a href="https://www.roscomponents.com/es/lidar-escaner-laser/83-urg-04lx-ug01.html">https://www.roscomponents.com/es/lidar-escaner-laser/83-urg-04lx-ug01.html</a>

*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

Apart de l'escollit existeixen moltes més solucions, per exemple si busquem dins el mateix fabricant trobem sensors de més alta gama, com el que vindria a ser el "germà gran" del **URG-04LX**, el **UTM-30LX**, molt més robust, precís i car.

Si per contra busquem altres marques però de l'estil dels anteriors podem fer referencia a la gama **Tim5xx** de la casa **SICK**, concretament el més semblant al escollit seria el **Tim551**. A continuació podreu observar les especificacions tècniques del dos sensors nombrats.



Figura 8. Hokuyo UTM-30LX

ESPECIFICACIONS

Voltatge d'alimentació:	12 V
Consum de corrent:	700 mA (1000 mA de pic)
Longitud de mesura:	0,1 a 30 m
Angle de visió:	270 °
Precisió:	De 0,1 a 10 m → ± 30mm De 10 a 30 m → ± 50mm (Pertorbacions lumíniques poden influir en la mesura)
Resolució angular:	aprox. 0,25°
Longitud d'ona del làser (λ):	905 nm
Temps d'escaneig:	25 ms / escaneig
Pes:	370 g
Preu:	p ≈ 4000 €
Lloc on comprar:	<a href="https://www.robotshop.com/en/hokuyo-utm-03lx-laser-scanning-rangefinder.html">https://www.robotshop.com/en/hokuyo-utm-03lx-laser-scanning-rangefinder.html</a>



*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*



Figura 9. Sick TiM551

ESPECIFICACIONS

Voltatge d'alimentació:	9 a 28 V
Potència d'alimentació:	4 W
Longitud de mesura:	0,05 a 10 m
Angle de visió:	270 °
Precisió:	± 60mm
Resolució angular:	aprox. 1°
Longitud d'ona del làser ( $\lambda$ ):	850 mm
Temps d'escaneig:	67 ms / escaneig
Pes:	250 g
Preu:	p ≈ 1500 €
Lloc on comprar:	<a href="https://eandm.com/Robotics/Robotics.aspx">https://eandm.com/Robotics/Robotics.aspx</a>



*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

1.4.2.1.2. LIDAR de baix cost

En el camp dels sensors LiDAR no és tant comú treballar amb tecnologies de baix cost com serien els dispositius DIY, això és degut a la immensa complexitat de funcionament i la precisió que és sol requerir quan busquem sensors d'aquest estil.

Una de les opcions disponibles seria Scanse. Aquesta producte va sorgir com una espècie de start up on tothom adquirint el seu kit podria construir-se el seu propi "3D escàner", actualment és pot adquirir el Scanse Sweep per un preu aproximat de 350 \$. Cal tenir en compte que aquest tipus de tecnologia te una freqüència de mostreig i precisió bastant limitada. A més a més de Scanse existeixen altres alternatives de baix cost, SLAMTEC seria una d'aquestes opcions, amb algun dels seus RPLIDAR.



Figura 10. Scanse Sweep montat

ESPECIFICACIONS

Voltatge d'alimentació:	5 V
Corrent d'alimentació:	450 mA (650 mA de pic)
Longitud de mesura:	fins a 40 m
Angle de visió:	360 °
Precisió:	± 1 cm
Resolució angular:	-
Longitud d'ona del làser ( $\lambda$ ):	905 nm
Temps d'escaneig:	0,9 ms / escaneig
Pes:	120 g
Preu:	p ≈ 300 €
Lloc on comprar:	<a href="https://www.sparkfun.com/products/14117">https://www.sparkfun.com/products/14117</a>



*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*



Figura 11. SLAMTEC RPLIDAR A3

ESPECIFICACIONS

Voltatge d'alimentació:	5 V	
Corrent d'alimentació:	Despert	→ 600 mA
	Adormit	→ 220 mA
	Arrancada	→ 1500 mA
Longitud de mesura:	Objecte Blanc	→ 25 m
	Objecte Negre	→ 10 m
Angle de visió:	360 °	
Precisió:	-	
Resolució angular:	aprox. 0,225°	
Longitud d'ona del làser ( $\lambda$ ):	785 nm	
Temps d'escaneig:	67 ms / escaneig (ajustable de 5 a 20 Hz)	
Pes:	190 g	
Preu:	p ≈ 540 €	
Lloc on comprar:		

[https://item.taobao.com/item.htm?spm=a312a.7700824.w5002-17838635668.7.6e6d41614xTOj1&id=565091991092&scene=taobao\\_shop](https://item.taobao.com/item.htm?spm=a312a.7700824.w5002-17838635668.7.6e6d41614xTOj1&id=565091991092&scene=taobao_shop)

*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

### 1.4.3. Sensors RGB - D o LIDAR 3d

La tecnologia LIDAR és una bona eina no només en l'estudi en dues dimensions com s'ha explicat anteriorment, si no que ha evolucionat de tal forma que utilitzant el mateix principi és capaç de retornar-nos suficient informació com per poder reconstruir mapes en 3 dimensions.

Aquesta evolució consisteix en utilitzar un sistema combinat de càmera RGB i profunditat. El seu funcionament és basa en combinar les imatges obtingudes per les dues càmeres:

- Càmera RGB: Encarregada de prendre imatges per després amb un processat poder identificar diferents zones o objectes.
- Càmera de Profunditat: Esta formada per un làser infraroig i una càmera infraroja, te la funció d'obtenir una imatge monocroma on com més fosca és la imatge més lluny esta el punt.

Combinant aquestes dues imatges podem ser capaços de realitzar un model en 3 dimensions prou acurat, aquests sistemes son anomenats RGB-D<sup>6</sup> o Lidars en 3d.

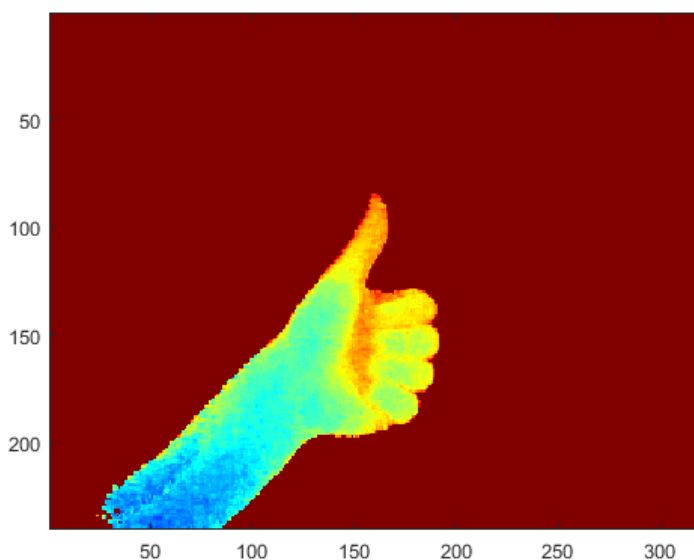


Figura 12. Imatge preprocessada amb una càmera RGB-D.

<sup>6</sup> Acrònim de l'anglès, **R**ed **G**reen **B**lue **D**epth. També anomenat Depth Camera (Càmera de Profunditat).

*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

Tota aquesta informació és pot combinar de forma similar a com es processa la informació de LIDARS 2D per crear escenaris tridimensionals de l'entorn.

Per exemple, la figura 12 mostra la informació de profunditat mesurada en cada píxel de la imatge. En canvi a la figura 13 es mostra la combinació de la informació de profunditat i de color RGB. La combinació de dues informacions permet obtenir una matriu on es disposa de la posició X,Y,Z de cada punt detectat i també el seu color. En la figura 13 s'han eliminat tots els punts del fons situats a partir d'una certa distància, per així poder seleccionar únicament el objecte més proper a la càmera.

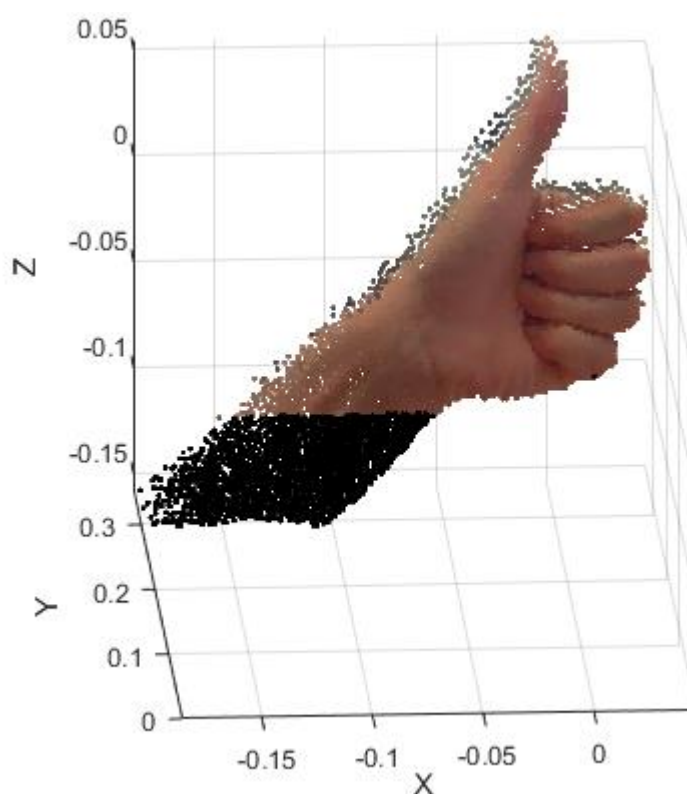


Figura 13. Imatge RGB-D processada.

*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

**1.4.3.1. Alternatives de mercat**



**Figura 14. Microsoft Kinect V2**

Si parlem de sensors RGB – D s’ha d’esmentar el Kinect de Microsoft que, tot i no estar oficialment disponible actualment, va esdevenir una gran revolució (Novembre, 2010). Primer en el camp dels videojocs i posteriorment utilitzat en camps com el de la robòtica o els sensors. A continuació es mostren les característiques de la segona versió llançada durant el Juliol de 2014.

**ESPECIFICACIONS**

Potència de funcionament:	≈ 15 W
Resolució RGB:	1920 x 1080 px
Rang de mesura:	0.5 – 4.5 m
Freqüència de processament:	30 Hz
Angle d’obertura:	71 x 60 °
Resolució profunditat:	512 x 424 px
Dimensions:	249 x 66 x 67 mm
Pes:	970 g
Preu:	≈ 150 €
Lloc on comprar:	Descatalogat, es pot aconseguir de segona ma

*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

A continuació es mostren les característiques dels sistemes en que ha evolucionat la idea inicial del Kinect: sistema Intel RealSense, desenvolupat per a ser una alternativa compacta al sensor Kinect.



Figura 15. Intel® RealSense™ Depth Camera D435

ESPECIFICACIONS

Potència de funcionament:	≈ 4 W
Resolució RGB:	800 x 1280 px
Rang de mesura:	0.2 – 1.2 m
Freqüència de processament:	60 Hz
Angle d'obertura:	65.5 x 91.2 °
Resolució profunditat:	1280 x 720 px
Dimensions:	90 x 25 x 25 mm
Pes:	-
Preu:	≈ 170 €
Lloc on comprar:	

<https://www.mouser.es/ProductDetail/Intel/82635AWGDVKPRQ?q=sGAepiMZZMsk5LjOSsCw1ctzEaTW%2fxkV9CXClOMooGfh5i0TDaJdOQ%3d%3d>

*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

### 1.5. Experiments

A partir de les tecnologies electròniques disponibles en la actualitat, referents al camp de mesures de distàncies i detecció d'obstacles, se n'escollirà una per poder desenvolupar la realització del projecte.

EL sistema seleccionat és un dels LIDAR esmentats en l'estat de l'art, concretament el **Hokuyo URG-04LX** (figura 7). La elecció d'aquest LIDAR com a sistema de detecció ve motivada en part per la seva disponibilitat al Laboratori de Robòtica de la Universitat de Lleida, en part per la possibilitat d'assessorament ja que en aquest laboratori porten temps treballant amb aquest tipus de sensors i també per la gran quantitat de d'informació que ens aporta aquest sensor ja que amb un únic sensor podem tenir dades de tot un pla de forma molt ràpida i precisa.

A continuació explicarem els 3 experiments realitzats i els seus resultats, així com els diferents algorismes emprats per dur-los a terme.



Figura 16. Captura de dades utilitzant el robot mòbil APR que incorpora un LIDAR URG.



*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

### **1.5.1. Obtenció de Dades del LIDAR**

El primer pas per poder treballar amb qualsevol tipus de sensors és el de la obtenció de les dades, de forma que després puguin ser interpretables i utilitzades per ser processades. En el nostre cas per facilitar la tasca del processat i comoditat a la hora de treballar, vam decidir primer recollir les dades en un fitxer i a partir d'allí seguir treballant amb MATLAB<sup>7</sup> per simular i/o mostrar els resultats.

Llavors aquest primer experiment va consistir en fer avançar manualment un robot mòbil (tipus APR)<sup>8</sup>, amb el LIDAR instal·lat. L'objectiu d'aquest primer experiment va ser la recollida de dades simulant un mateix recorregut en varies passades i afegint diferents obstacles. Un cop amb les dades enregistrades en varis fitxers amb extensió "txt"<sup>9</sup>, es va procedir a tractar-les.

#### *DIAGRAMA EXPLICATIU*

El codi bàsic per realitzar aquesta tasca va ser desenvolupat inicialment pel Laboratori de Robòtica de la Universitat. Aquest codi s'ocupa de realitzar la inicialització del sensor, accedir a les dades i registrar-les per permetre realitzar una anàlisi off-line. L'anàlisi realitzat en el treball de recerca es realitzarà a partir dels fitxers de dades obtinguts amb aquest procés.

---

<sup>7</sup> És una eina de software matemàtic multi plataforma que ofereix un entorn de desenvolupament integrat amb un llenguatge de programació propi.

<sup>8</sup> Assistent Personal Robotic, projecte realitzat per el laboratori de Robotica de la Universitat de Lleida, per a més informació consultar: <http://robotica.udl.cat/recercaixa.htm>.

<sup>9</sup> Arxiu de text pla o sense format que únicament conte caràcters.

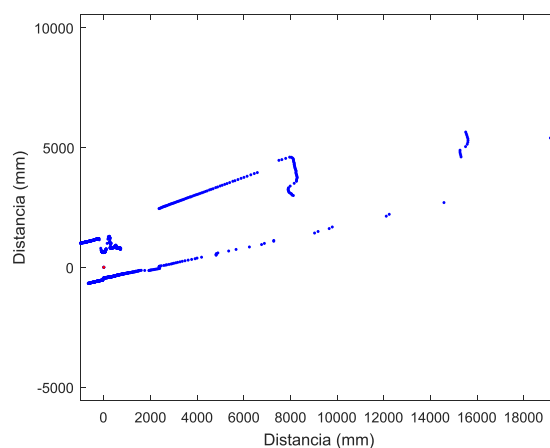
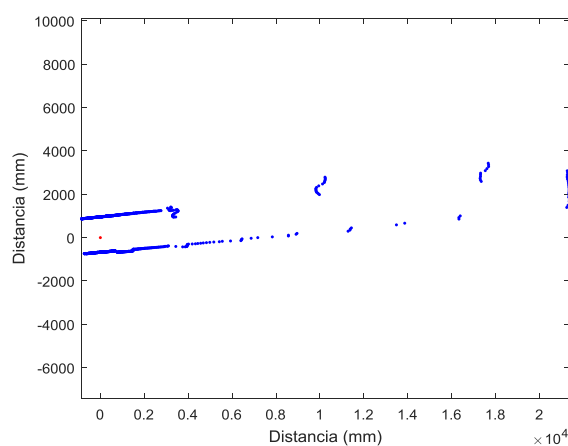


## *Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

### *RESULTATS DE L'EXPERIMENT*

L'objectiu principal del primer experiment era obtenir les dades del LIDAR, previ tractament de cap tipus, i ser capaç de mostrar-les correctament.

Com és pot observar en la Figura 17, on és mostren diferents fotogrames de la realització de l'experiment, juntament amb les dades obtingudes del LIDAR. L'objectiu d'aquest experiment ha estat altament satisfactori en quant a la informació obtinguda i la facilitat d'interpretació de la informació obtinguda pel LIDAR.



**Figura 17. Visió real Vs. Dades vistes des de el LIDAR previ tractat.**

Cal remarcar que els experiments han estat duts a terme en un ambient controlat, on no hi ha elements que poden causar mesures errònies com elements reflectants o transparents.



*Anàlisis de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

### **1.5.2. Detecció d'obstacles**

Una vegada es disposa d'un conjunt de dades obtingudes en un entorn real el següent pas és establir una algorítmica que permeti diferenciar punts conflictius i obstacles alhora de fer un desplaçament i també mostrar quins són els possibles punts de col·lisió. Per això en aquest experiment treballarem sobre les dades enregistrades en l'experiment 1.

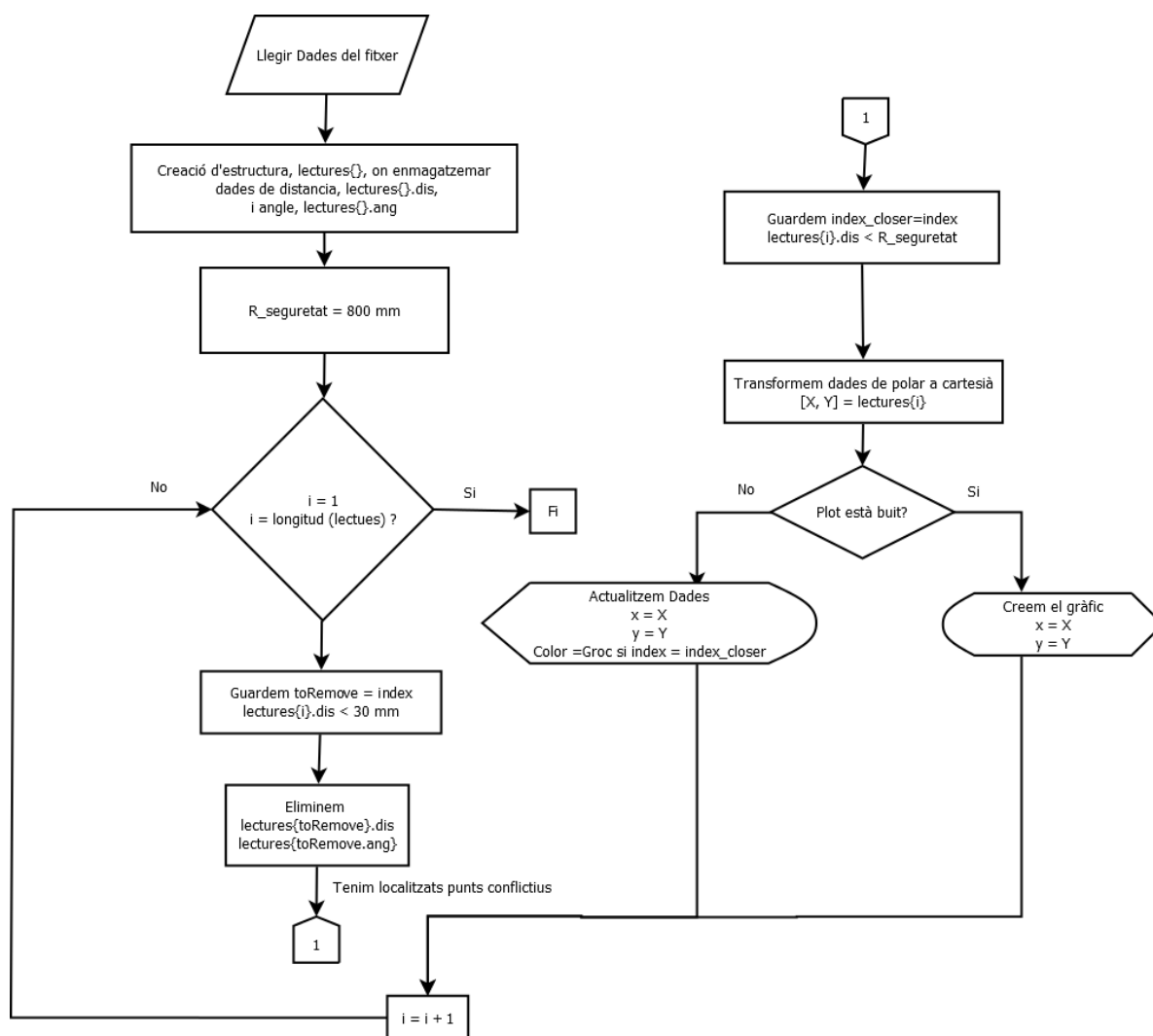
En aquesta segona prova, ens marcarem la fita de poder analitzar les dades obtingudes prèviament i detectar els futuribles obstacles, o objectes propers dins un cert radi de seguretat ( $R_{seguretat}$ ). Aquest radi vindrà determinat per les pròpies dimensions de l'usuari, sumant-li un coeficient de seguretat a determinar per l'usuari, per així evitar col·lisions en possibles maniobres o falses mesures del LIDAR. En el nostre cas a tall d'exemple hem elegit un  $R_{seguretat} = 800$  mm.

*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

**DIAGRAMA EXPLICATIU**

Per realitzar el procés de la detecció dels obstacles d'una forma visual, s'han elaborat un seguit de funcions en Matlab adjuntades en [l'annex 3.1](#).

A més a més per realitzar més entenedors els codis, per qui no estigui familiaritzat amb el llenguatge m,<sup>10</sup> en la següent figura podeu visualitzar un petit diagrama de flux a mode resum del codi annexat.

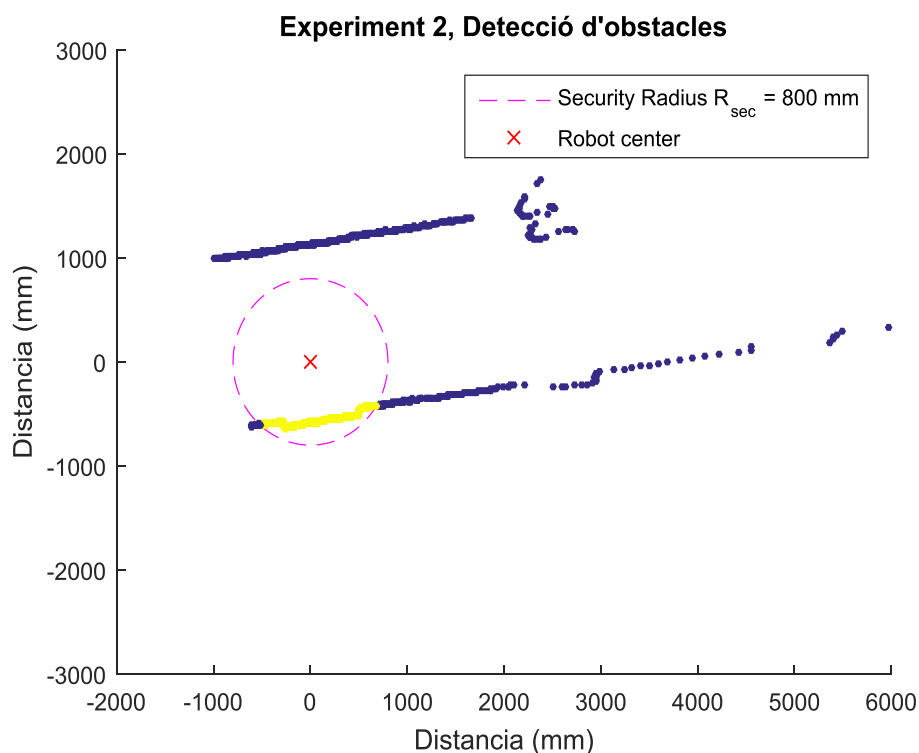


**Figura 18. Diagrama de flux, detecció d'obstacles**

<sup>10</sup> Llenguatge de programació interpretat propi de MATLAB.

*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

**RESULTATS DE L'EXPERIMENT**

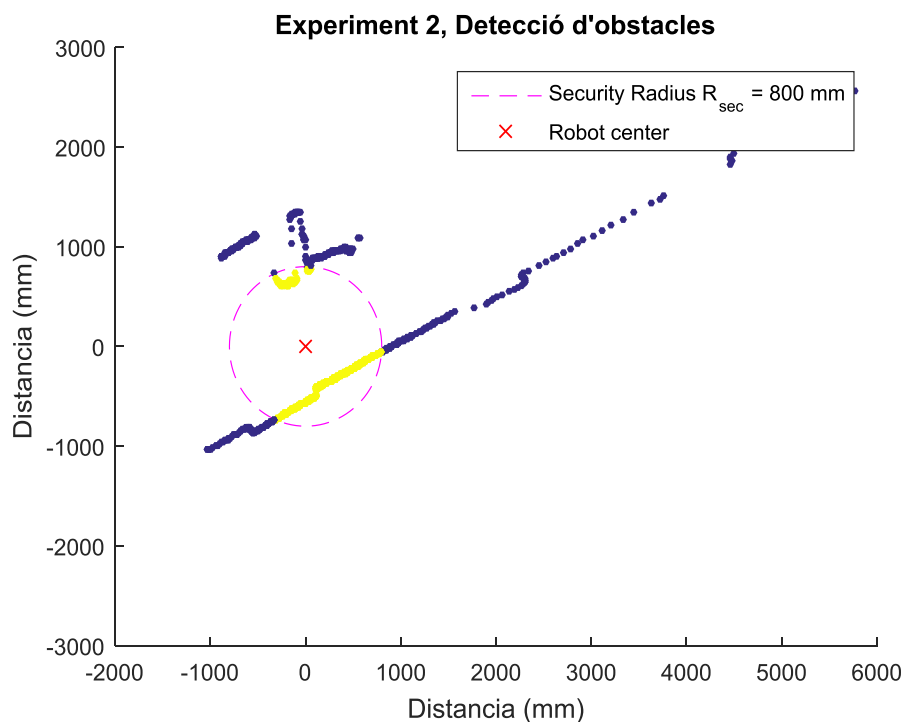


**Figura 19. Resultat experiment 2, prova 3**

En la figura 19, podem observar el resultat de processar les dades, on amb línia puntejada és veu el Radi de seguretat definit anteriorment. Si mirem amb detall és pot observar que on el radi de seguretat coincideix amb les dades del LIDAR, els obstacles canvien de color.

Aquest canvi de color ens indica, tots aquells punts susceptibles a ser futurs obstacles, que haurem de tenir en compte alhora de voler evitar-los.

*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*



**Figura 20. Resultat experiment 2, prova 6**

Si mirem la figura 20 podem contrastar els resultats obtinguts en la 19, ja que per molt complexes que siguin les geometries dels obstacles, en aquesta provatura jo mateix vaig fer d'obstacle, és capaç de detectar-lo i identificar-lo correctament.

Aquest avanç ens permet seguir endavant amb el projecte, ja que un dels passos previs a la correcció de ruta per evitar obstacles és la detecció d'aquests, per així poder prendre decisions respecte la millor alternativa per evitar la col·lisió.



*Anàlisis de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

### **1.5.3. Simulació de sensors d'ultrasons mitjançant un LIDAR**

La informació obtinguda amb el LIDAR URG aporta una extraordinària definició de dades en el pla de treball, concretament a 1081 mesures repartides en 240° d'abast del sensor. Per tal d'explorar alternatives diferents es va decidir processar aquesta informació per simular el funcionament de sensors menys precisos com els ultrasons (on el nombre de mesures dependrà del nombre de sensors disponibles) i analitzar el resultat que es podria obtenir amb aquest altres sensors de cost significativament més baix.

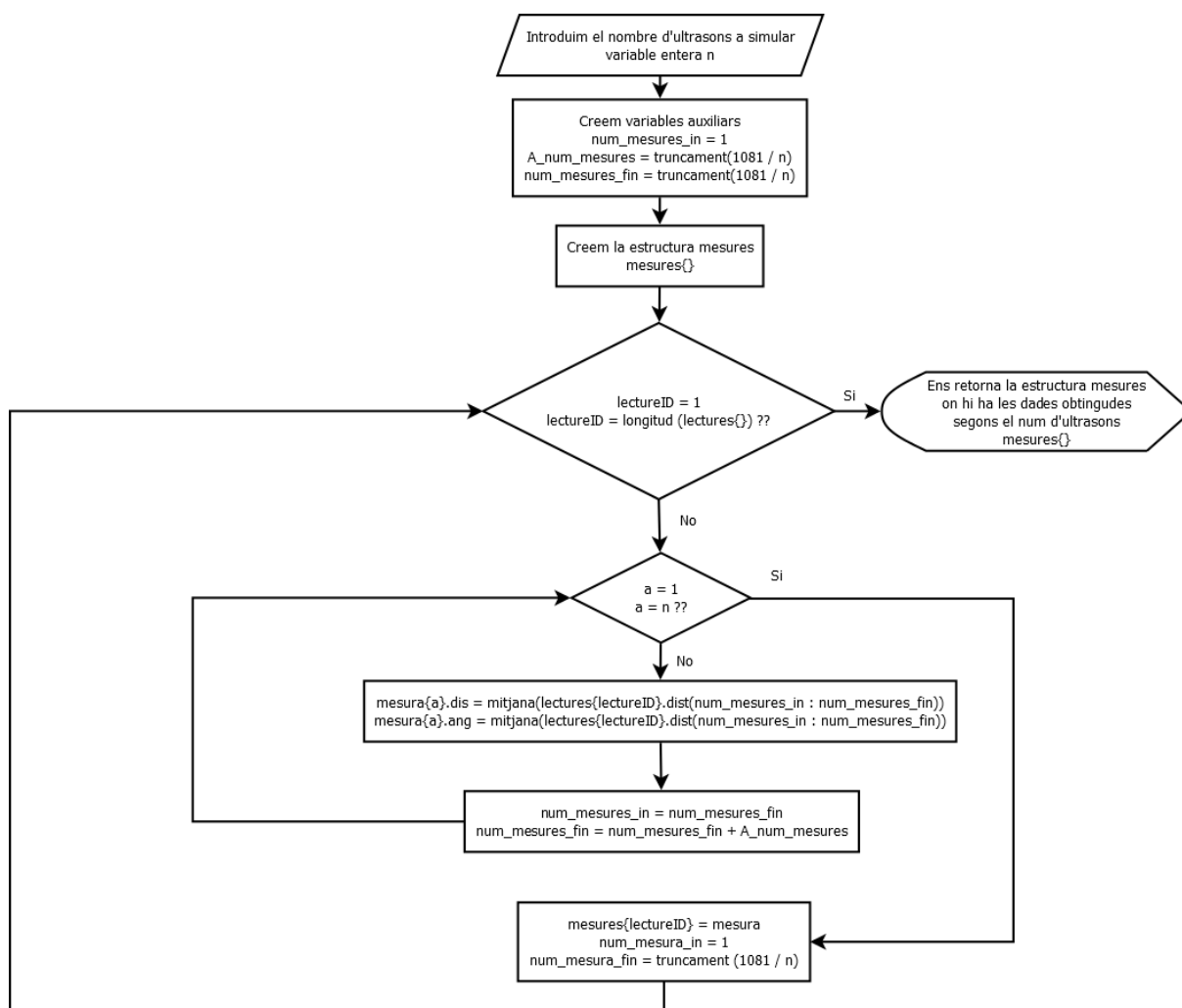
Concretament aquesta funció ens va semblar útil perquè d'una forma senzilla, podem simular el resultat en varis casos on no és precisin tantes mesures, i avaluar així el nombre òptim d'ultrasons a utilitzar.

*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

**DIAGRAMA EXPLICATIU**

De la mateixa forma que en l'experiment anterior, també s'han elaborat un seguit de funcions per poder obtenir un resultat simulat visual. Concretament només s'ha modificat una mica la part on es mostra la gràfica i s'ha creat una nova funció que et permet seleccionar el nombre d'ultrasons a simular.

A continuació en la figura 21 és pot veure un diagrama de flux explicatiu, solament descriu la nova funció creada per simular el nombre d'ultrasons, ja que un cop obtinguda la estructura mesures{} el procediment per tractar i mostrar les dades és el mateix que en l'experiment anterior.

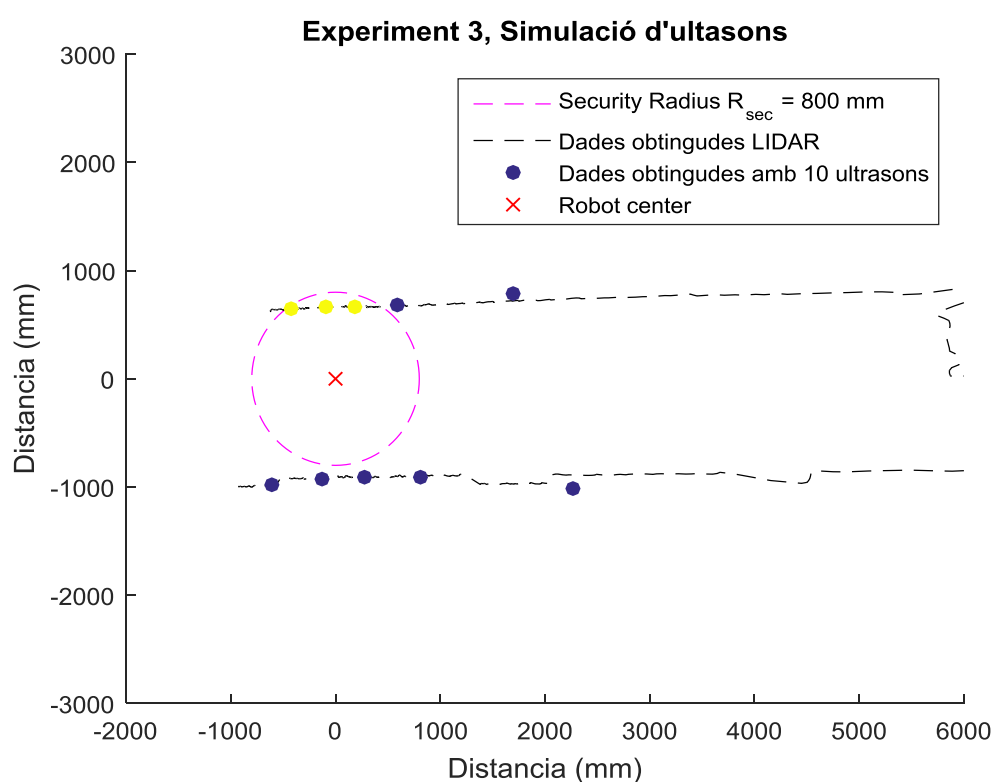


**Figura 21. Diagrama de flux de la funció que simula ultrasons.**

*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

**RESULTATS DE L'EXPERIMENT**

En els resultats d'aquest experiment podem veure contraposades les dades obtingudes mitjançant un LIDAR, en vers les obtingudes per un nombre d'ultrasons a determinar. Concretament s'han realitzat tres assajos, simulant en el cas de tenir 10 sensors, 100, sensors i 1000 sensors d'ultrasons.



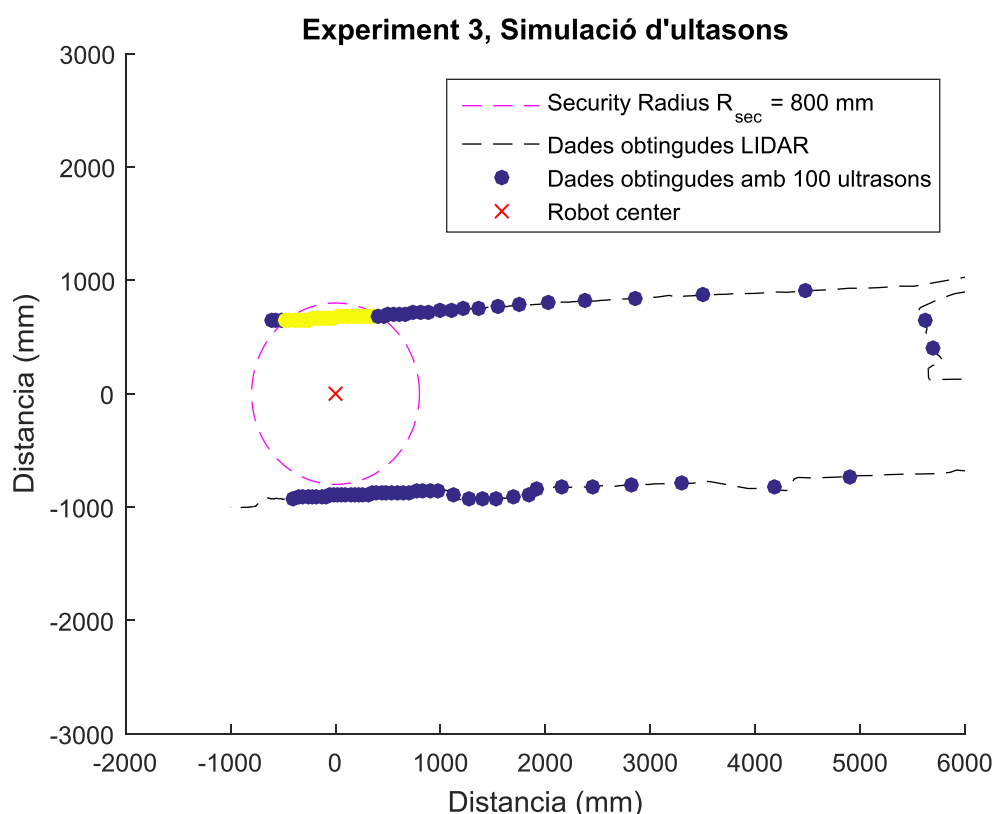
**Figura 22. Simulació d'obtenció de dades amb 10 ultrasons.**

Els resultats del primer assaig (figura 22), mostren la gran diferència entre treballar amb LIDARS o fer-ho amb ultrasons, la quantitat de dades. D'aquí podem extreure la conclusió que per una aplicació de construcció de mapes o obtenció d'informació de l'entorn, la utilització de pocs ultrasons no és suficient.



*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

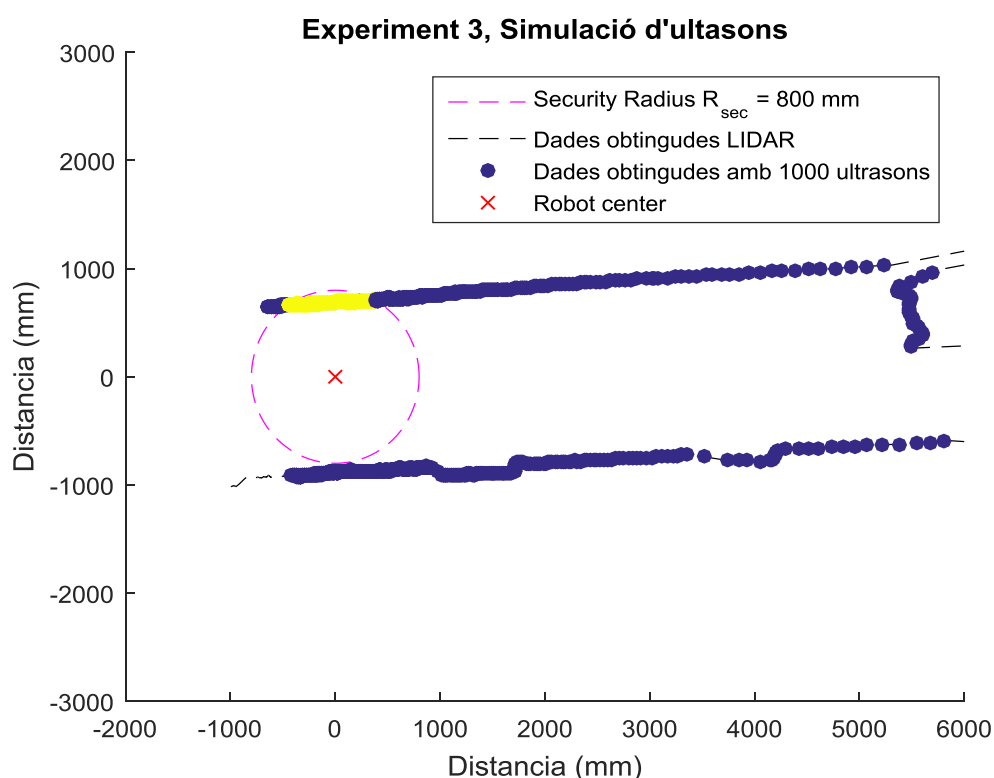
Si ens fixem en la següent figura, que són els resultats de simular la col·locació de 100 ultrasons, podríem entrar en dubte de quina de les dos alternatives escollir, ja que per nombre de dades recollides podria ésser suficient per la majoria d'aplicacions. Però si analitzem en profunditat la solució queda descartada, per la complexitat física de col·locar 100 sensors i a més a més després ser capaços de processar aquestes dades de forma correcta.



**Figura 23.** Simulació d'obtenció de dades amb 100 ultrasons.

*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

A continuació es realitzarà una prova amb un nombre elevat de sensors (figura 24), proper a 1081, ja que son les mesures que ens dona el lidar, s'aproximava molt més el resultat. La resposta va ser afirmativa, però igual que en el cas anterior és una opció inviable per temes de logística alhora d'implementar.



**Figura 24.** Simulació d'obtenció de dades amb 1000 ultasons.

*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

## 1.6. Correcció de trajectòria

Finalitzats els passos previs, ara és el moment d'encarar el principal objectiu d'aquest projecte, aconseguir redirigir un vehicle de forma autònoma fent petites correccions de trajectòria. Tot això està fet com la resta mitjançant simulació, a continuació trobareu un diagrama explicatiu i els resultats finals obtinguts.

### DIAGRAMA EXPLICATIU

Per realitzar la tasca de corregir la trajectòria ha estat necessària la elaboració de dues noves funcions, una encarregada de calcular contínuament l'angle cap a on hauria d'avançar el vehicle, i l'altra encarregada graficar una línia amb l'angle calculat per fer més visual la solució. Podeu veure el codi sencer al [annex 3.3](#).

La figura 25 ens mostra un diagrama de flux, on esta explicada la funció encarregada de calcular l'angle de la trajectòria d'escapament.

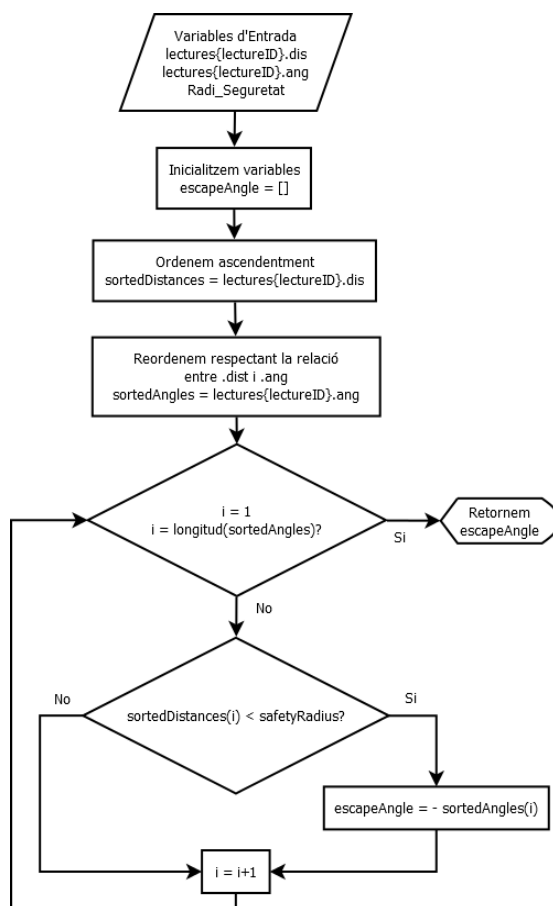
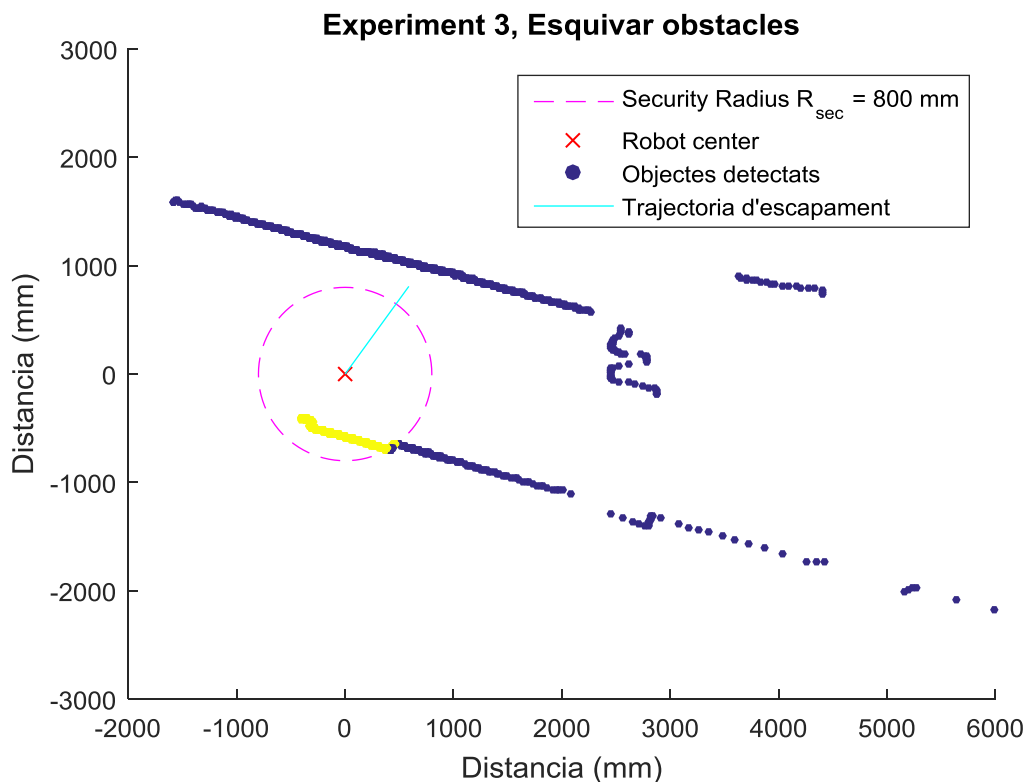


Figura 25. Funció que calcula l'angle d'escapament

*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

**RESULTATS EXPERIMENT**



**Figura 26. Evitar obstacles**

Pel que fa a la execució de la solució trobada, és pot veure que seguint la trajectòria d'escapament de la figura 26 evitaria el xoc. Cal esmentar que és una solució molt simple, ja que l'únic criteri a seguir per elegir quin punt evitar és la proximitat. Exactament el nostre vehicle avança cap a la direcció contrària del punt més proper detectat, llavors actualitzant constantment el punt actualitza la direcció de escapament.

Com a solució podem dir que no és la més òptima, ja que l'usuari en llocs on hi hagin molts obstacles estaria canviant constantment de direcció. Això podria comportar moviments bruscs, incomodant al propi usuari.



*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

### **1.7.Conclusions**

Responent al objectiu principal d'aquest projecte, que demanava elaborar un codi capaç d'auto corregir desplaçaments per evitar col·lisions, podem dir que ha quedat complert. També cal esmentar que tot i haver estat capaços de elaborar una solució, aquesta no és més que el principi podent millorar molt com a tal, ja que tot i estar dotada de la habilitat de corregir les trajectòries ho fa d'una forma directa i poc suau. Aquesta forma de correcció es considera adequada en recorreguts de poca complexitat però en un futur s'analitzaran altres alternatives que permetin realitzar un control més progressiu que eviti crear una certa incomoditat al haver d'esquivar molts objectes seguits.

A més a més del objectiu principal, la elaboració d'aquest treball m'ha servit per aprofundir coneixements en el camp de la detecció d'objectes mitjançant sensors electrònics, i el consegüent tractament de dades posterior. També he pogut veure de primera mà la complexitat de treballar amb quantitats de dades grans i el posterior tractat d'aquestes.

Referent a la resta d'objectius secundaris han quedat complerts amb la consecució del objectiu principal.



*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

## 2. BIBLIOGRAFIA

Acosta Amaya, Gustavo Alonso. (2010). *Capítulo 4. Ambiente Robótico para el Mapeo de Entornos AMBIENTE MULTI-AGENTE ROBÓTICO PARA LA NAVEGACIÓN COLABORATIVA EN ESCENARIOS ESTRUCTURADOS.* (pp. 71-101). Universidad Nacional de Colombia.

García González, Jónathan. (2012). *Mapeo con robot móvil: Construcción y seguimiento* (Treball de Fi de Grau).

Recuperat de [https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2012/hdl\\_2072\\_206760/PFC\\_JonathanGarciaGonzalez.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2012/hdl_2072_206760/PFC_JonathanGarciaGonzalez.pdf)

Farrington, Daniel; Fleming, Robert; Hill, Daniel; Morrow, Justin. (2016). *Ultrasonic Mapping Device* (Treball de Fi de Grau).

Recuperat de <https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-042816-140421/unrestricted/UltraMapMQP.pdf>

Solans Barón, Alejandro. (2015). *Sistema de adquisición de datos portátil para la generación de nubes de puntos 3D georeferenciadas a partir de un sensor LIDAR 2D* (Major Qualifying Project).

Recuperat de <https://repositori.udl.cat/handle/10459.1/49083>

Auat Cheein, Fernando; De la Cruz, Celso; Bastos Filho, Teodiano. (2011). Navegación Autónoma Asistida Basada en SLAM para una Silla de Ruedas Robotizada en Entornos Restringidos. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, Volume 8, Issue 2, April 2011, Pages 81-92.

Recuperat de <https://polipapers.upv.es/index.php/RIAI/article/view/8582>

Munguía-Alcalá, Rodrigo Francisco; Grau-Saldes, Antoni. (2013). SLAM CON MEDICIONES ANGULARES: MÉTODO POR TRIANGULACIÓN ESTOCÁSTICA. *Revistas UNAM*, Vol 14, No 2 (2013).

Recuperat de <http://www.revistas.unam.mx/index.php/ingenieria/article/view/38393/34901>



*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

### 3. ANNEXOS

#### 3.1.Detecció d'obstacles

```
%%%      Aquest codi identifica els obstacles a x distancia,      %%%
%%%      pinta en roig el grafic i mostra un avis per pantalla  %%%
%%%      que indica la situacio                                  %%%
%%%                                                                 %%%
function y = prova_detectar_parets2()
    fileID = loadFileFromUI();

    if fileID == 0 || fileID == -1
        return;
    end

    %Distancia minima de deteccio d'obstacles en mm
    l = 800;

    %DADES PER PINTAR CERCLE R SEGURETAT
    r=l;
    th = 0:pi/50:2*pi;
    xunit = r * cos(th) + 0;
    yunit = r * sin(th) + 0;

    lectures = loadLIDARData(fileID);

    y = lectures;
    figure;

    axesID = axes;

    axis(axesID,'equal');
    scatterObject = [];
    plotRobot = [];

    for lectureID=1:length(lectures)

        toRemove = find(lectures{lectureID}.dis < 30);
        lectures{lectureID}.ang(toRemove) = [];
        lectures{lectureID}.dis(toRemove) = [];

        [X,Y] =
pol2cart(lectures{lectureID}.ang,lectures{lectureID}.dis);

        relevant_indexs_closer = find(lectures{lectureID}.dis < l);
```



*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

```
plotColor = zeros(1,length(lectures{lectureID}.dis));
plotSize = ones(1,length(lectures{lectureID}.dis))*10;

plotColor(relevant_indexs_closer) = 1;

%plotSize(relevant_indexs_closer) = 20;

if isempty(scatterObject)
    title('Experiment 2, Detecció d''obstacles')

    hold on;

    xlabel('Distancia (mm)')
    ylabel('Distancia (mm)')
    axis ([-2000 6000 -3000 3000])
    plot(xunit, yunit, '--m');
    plot(0,0,'rx');
    scatterObject = scatter(X,Y,10,plotColor,'filled');
    hold off;
else
    legend('Security Radius R_{sec} = 800 mm','Robot
center')

    scatterObject.XData = X;
    scatterObject.YData = Y;
    scatterObject.CData = plotColor;
    % scatterObject.SizeData = plotSize;

end
pause(0.1)
end

end

function fileID = loadFileFromUI()
    [fileName,pathName] = uigetfile('*.');

    fileID = fopen([pathName,fileName], 'r');
end
```





*Anàlisis de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al  
guiatge automàtic de sistemes mòbils*

```
function LIDARLectures = loadLIDARData(fileID)
    LIDARLectures = {};

    while ~feof(fileID)
        disStr = fgetl(fileID);
        angStr = fgetl(fileID);
        lecture.dis = str2num(disStr);
        lecture.ang = str2num(angStr);
        LIDARLectures{end+1} = lecture;
    end
    fclose(fileID);
end
```



*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al  
guiatge automàtic de sistemes mòbils*

### 3.2.Simulació ultrasons

```
function simulacio_ultrasons()
%Elegim fitxer on tenim les dades
fileID = loadFileFromUI();

if fileID == 0 || fileID == -1
    return;
end

%Distancia minima de deteccio d'obstacles en mm
l = 800;

%//DADES PER PINTAR CERCLE R SEGURETAT
r=l;
th = 0:pi/50:2*pi;
xunit = r * cos(th) + 0;
yunit = r * sin(th) + 0;
%

%Carreguem les dades del fitxer obtingudes pel LIDAR
global lectures
lectures = loadLIDARData(fileID);
%Carreguem les dades que simulen els sensors d'ultrasons
mesures = num_ultrasons();

%Creem objectes per fer els plots
figure;
scatterObject = [];

%Bucle que dibuixa i filtra les dades
for lectureID=1:length(mesures)
    %Filtrat de mesures, ultrasons
    toRemove = find(mesures{lectureID}.dist < 30);
    mesures{lectureID}.ang(toRemove) = [];
    mesures{lectureID}.dist(toRemove) = [];
    %Pasem de polar a cartesiana les dades per facilitar els plots
    [X,Y] =
pol2cart(mesures{lectureID}.ang,mesures{lectureID}.dist);

    %Filtrat lectures, lidar
    toRemove = find(lectures{lectureID}.dis < 30);
    lectures{lectureID}.ang(toRemove) = [];
    lectures{lectureID}.dis(toRemove) = [];
    %Pasem de polar a cartesiana les dades per facilitar els plots
    [X_l,Y_l] =
pol2cart(lectures{lectureID}.ang,lectures{lectureID}.dis);

    %Detectar punts propers ultasons
    relevant_indexes_closer = find(mesures{lectureID}.dist < l);
    plotColor = zeros(1,length(mesures{lectureID}.dist));
    plotColor(relevant_indexes_closer) = 1;
    %
```



*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

```
%Creem el gràfic si els objectes estan buits
if isempty(scatterObject)
    title('Experiment 3, Simulació d'ultasons')
    xlabel('Distancia (mm)')
    ylabel('Distancia (mm)')
    axis ([-2000 6000 -3000 3000])
    hold on
    plot(xunit, yunit, '--m');
    plot_lidar=plot(X_l,Y_l, '--k');
    scatterObject = scatter(X,Y,35,plotColor, 'filled');
    plot(0,0, 'rx');
    hold off;
%Si ja esta creat només refresquem valors
else
    %Actualitzem dades del lidar
    plot_lidar.XData = X_l;
    plot_lidar.YData = Y_l;

    %Actualitzem dades ultrasons
    scatterObject.XData = X;
    scatterObject.YData = Y;
    scatterObject.CData = plotColor;

    legend('Security Radius R_{sec} = 800 mm', 'Dades
obtingudes LIDAR', 'Dades obtingudes amb 10 ultrasons', 'Robot center')

    end
    pause(0.1)
end
end
%% Aquesta funció agafa les dades del Lidar i simula n numero
d'ultasons
function [mesures] = num_ultrasons()
    global lectures
    %Num Ultrasons
    n = 11;
    %Inicialització de paràmetres per fer el bucle de simulació
    num_mesures_in = 1;
    A_num_mesures = floor(1081/n);
    num_mesures_fin = floor(1081/n);
    mesures = {};
    %
```



*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

```
%Bucle que crea una estructura mesures amb els valors de
distancia i angle
%dependent del nombre d'ultrasons
for lectureID=1:length(lectures)
    for a=1:n
        mesura.dist(a) =
mean(lectures{lectureID}.dis(num_mesures_in:num_mesures_fin));
        mesura.ang(a) =
mean(lectures{lectureID}.ang(num_mesures_in:num_mesures_fin));

        num_mesures_in=num_mesures_fin;
        num_mesures_fin = num_mesures_fin + A_num_mesures;

    end

    mesures{lectureID} = mesura;
    num_mesures_in = 1;
    num_mesures_fin = floor(1081/n);

end
end

%Funcio que obte l'identificador del fitxer escollit
function fileID = loadFileFromUI()
    [fileName,pathName] = uigetfile('*.*');

    fileID = fopen([pathName,fileName], 'r');
end

%Funcio que carrega les dades del fitxer escollit
function LIDARLectures = loadLIDARData(fileID)
    LIDARLectures = {};

    while ~feof(fileID)
        disStr = fgetl(fileID);
        angStr = fgetl(fileID);
        lecture.dis = str2num(disStr);
        lecture.ang = str2num(angStr);
        LIDARLectures{end+1} = lecture;
    end
    fclose(fileID);
end
```



*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

### 3.3.Solució per corregir trajectòria

```
%%%      Aquest codi dibuixa la trajectoria a seguir en temps      %%%
%%%      real per tal d'evitar col·lisions                        %%%
function solucio1()
    % Elegim fitxer on tenim les dades
    fileID = loadFileFromUI();

    if fileID == 0 || fileID == -1
        return;
    end

    % Distància mínima de detecció d'obstacles en mm
    l = 800;

    % DADES PER PINTAR CERCLE R SEGURETAT
    r=l;
    th = 0:pi/50:2*pi;
    xunit = r * cos(th) + 0;
    yunit = r * sin(th) + 0;

    % Carreguem les dades del fitxer obtingudes pel LIDAR
    lectures = loadLIDARData(fileID);

    % Creem objectes per fer els plots
    figure;
    axesID = axes;
    axis(axesID,'equal');
    scatterObject = [];
    escapeLine = [];

    % Bucle que dibuixa i filtra les dades
    for lectureID=1:length(lectures)
        % Filtrat de mesures, ultrasons
        toRemove = find(lectures{lectureID}.dis < 30);
        lectures{lectureID}.ang(toRemove) = [];
        lectures{lectureID}.dis(toRemove) = [];

        % Obtenim l'angle d'escapatoria
        escapeAngle =
            computeEscapeAngle(lectures{lectureID}.ang,lectures{lectureID}.dis,l);

        % Pasem de polar a cartesiana les dades per facilitar els plots
        [X,Y] =
            pol2cart(lectures{lectureID}.ang,lectures{lectureID}.dis);

        % Detectar punts propers
        relevant_indexs_closer = find(lectures{lectureID}.dis < l);
        plotColor = zeros(1,length(lectures{lectureID}.dis));
        plotColor(relevant_indexs_closer) = 1;
```



*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al guiatge automàtic de sistemes mòbils*

```
%Creem el gràfic si els objectes estan buits
if isempty(scatterObject)
    title('Experiment 3, Esquivar obstacles');
    hold on;
    xlabel('Distancia (mm)')
    ylabel('Distancia (mm)')
    axis ([-2000 6000 -3000 3000])
    plot(xunit, yunit, '--m');
    plot(0,0,'rx');
    scatterObject = scatter(X,Y,10,plotColor,'filled');
    hold off;
%Si ja esta creat nomes refresquem valors
else
    scatterObject.XData = X;
    scatterObject.YData = Y;
    scatterObject.CData = plotColor;
end

% Dibuixem el vector d'escapament
if (~isempty(escapeAngle))
    escapeLine = plotEscapeVector(escapeAngle,escapeLine,axesID);
    legend('Security Radius R_{sec} = 800 mm','Robot'
        'center','Objectes detectats','Trajectoria d'escapament')
end
pause(0.1)
end

end

% Funcio que calcula l'angle de la trajectoria per evitar les col·lisions
function escapeAngle =
computeEscapeAngle(anglesList,distancesList,safetyRadius)
    % Inicialitzem el vector buit
    escapeAngle = [];

    % Ordenem distancies en ordre ascendent i respectem l'ordre per els
    % angles
    [sortedDistances, indexsSwap] = sort(distancesList);
    sortedAngles = anglesList(indexsSwap);

    % Bucle que calcula el angle d'escapament
    for i=1:(length(sortedAngles)-1)
        if sortedDistances(i) < safetyRadius
            escapeAngle = - sortedAngles(i);
        end
    end
end

end
```



*Anàlisi de la informació obtinguda mitjançant sensors electrònics aplicat al  
guiatge automàtic de sistemes mòbils*

```
% Funcio que dibuixa la trajectoria
function escapeLine = plotEscapeVector(escapeAngle,escapeLine,plotID)
    % Creem objecte
    if (isempty(escapeLine) && ~isempty(escapeAngle))
        [X,Y] = pol2cart(escapeAngle,1000);
        hold(plotID,'on');
        escapeLine = plot([0,X],[0,Y],'c-','Parent',plotID);
        hold(plotID,'off');
    end

    % Actualitzem valors
    if (~isempty(escapeAngle) && ~isempty(escapeLine))
        [X,Y] = pol2cart(escapeAngle,1000);
        escapeLine.XData = [0,X];
        escapeLine.YData = [0,Y];
    end

    % Eliminem la linia que marca la ruta d'escapament en el cas que no
    % tinguem angle d'escapament.
    if (~isempty(escapeLine) && isempty(escapeAngle))
        delete(escapeLine);
        escapeLine = [];
    end
end

%Funcio que obte l'identificador del fitxer escollit
function fileID = loadFileFromUI()
    [fileName,pathName] = uigetfile('\*.*.');

    fileID = fopen([pathName,fileName], 'r');
end

%Funcio que carrega les dades del fitxer escollir
function LIDARLectures = loadLIDARData(fileID)
    LIDARLectures = {};

    while ~feof(fileID)
        disStr = fgetl(fileID);
        angStr = fgetl(fileID);
        lecture.dis = str2num(disStr);
        lecture.ang = str2num(angStr);
        LIDARLectures{end+1} = lecture;
    end
    fclose(fileID);
end
```